

REVISTA EXTRANJERA

Puente en X sobre el río Sarthe en Le Mans (Francia).

A fines de 1898 se ha inaugurado en Le Mans un curioso puente, al que por la forma en aspa de su planta se le ha dado el nombre de puente en X. Es de cemento armado, ha sido estudiado y construido por el Ingeniero Jefe de Puentes y Calzadas Mr. Harel de la Noë y constituye una innovación de primer orden en el arte de la construcción. Los Ingenieros tenían reparo en emplear el cemento armado por no ser todavía bien conocidas sus propiedades; más á medida que éstas, por experimentos de laboratorio y por resultados de la práctica se van conociendo, las aplicaciones de este material se extienden y, según parece, seguirán extendiéndose.

La forma en X de la planta del puente ha sido impuesta, por conveniencias locales, para que pudieran cruzar el río Sarthe en buenas condiciones, una línea de ferrocarril económico y una de tranvía eléctrico, paso que no podía verificarse por un puente ya construido, tanto por los inconvenientes que ofrecía la explotación de un trozo común á las dos vías y dificultades del trazado para el acceso al puente, cuanto por el más grave inconveniente de poner en peligro su estabilidad.

Resuelta esta dificultad del trazado, quedaba por resolver otra más importante, que era la de construir la nueva obra en condiciones inverosímiles de baratura. En efecto; la compañía del tranvía subvencionaba la obra con 35.000 francos, y la Diputación provincial, á causa de haber comprometido sus recursos durante treinta años para el pago de la construcción de una red provincial de 123 kilómetros de ferrocarriles de vía estrecha recientemente acabada, no podía subvencionar las obras del puente más que con 10.000 francos. Por lo tanto, ó había que renunciar al puente, ó habían de encontrarse procedimientos nuevos para que el costo no pasara de 90 francos el metro cuadrado, puesto que el puente en proyecto tenía una superficie de 500 metros cuadrados.

Hecho el estudio de los puentes de la localidad resultó que, en los construidos sobre el río Sarthe, el costo por metro cuadrado de planta había sido de 266 á 430 francos para los de fábrica incluyendo los cimientos y de 217 á 315 sin incluir la cimentación, y para los de hierro de 271 á 288 franco; (sin incluir la cimentación). Un puente de la misma ciudad, el puente Isoir (junto al cual se ha construido el nuevo), acabado en 1884 y asentado en un terreno igual al que había de sostener el nuevo puente y en condiciones más favorables, por haberse utilizado antiguos cimientos de una obra romana, ha costado 288 francos sin incluir la cimentación y 392 incluyéndola (1). Compréndese, vistos estos datos, la dificultad económica del problema. Los resultados no han podido ser más satisfactorios, puesto que las obras del nuevo puente, en virtud de las nuevas disposiciones adoptadas, han costado 60 francos por metro cuadrado de planta.

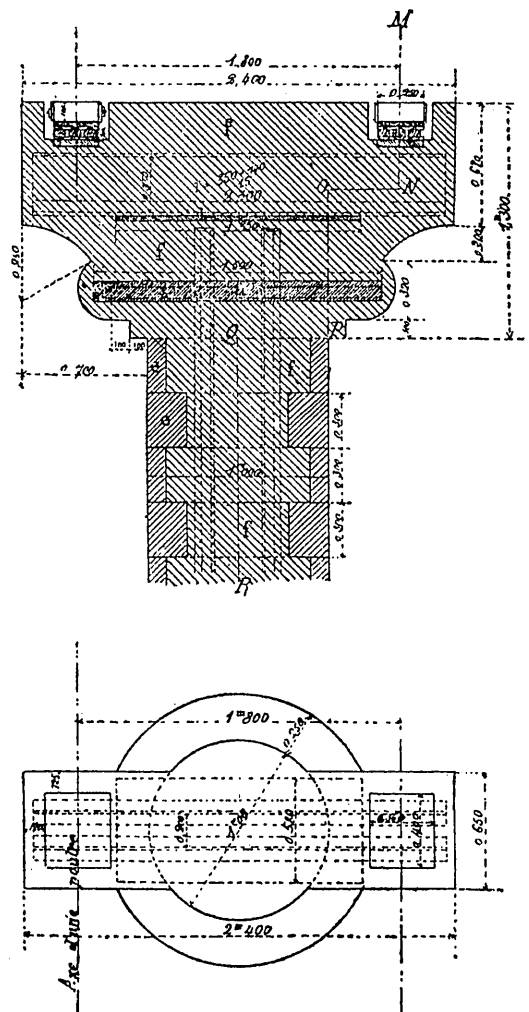
Los cimientos son de pilotaje. Los pilotes se cortaron enrasándolos al nivel del fondo del río, excepto en la pila doble que corresponde al punto de cruzamiento de las dos ramas del puente, en la cual los pilotes sobresalen 2^m,25 del fondo y están rodea-

dos de un macizo de escollera gruesa. La parte superior de la escollera se enrasó con piedra menuda destinada á evitar que el hormigón se escapara por los huecos de los cantos gruesos.

Las cabezas de los pilotes quedan fuertemente empotradas en macizos de hormigón á los cuales se les ha dado una gran rigidez, conveniente para una igual repartición de las presiones, y una gran resistencia, por medio de dos filas de carriles dispuestas normalmente una de otra. La fila más baja enlaza dos á dos las cabezas de los pilotes. En este macizo se empotran también los carriles verticales que forman la armazón de las pilas. Estos cimientos han costado, para las seis pilas del puente en X, 4.380 francos. Los carriles empleados eran de desecho y costaron á 60 francos la tonelada.

Fig. 1.^a

SECCION DE UNA PILA



Las pilas son de forma cilíndrica y de un metro de diámetro. En la parte superior se han dispuesto unas ménsulas para recibir las vigas principales. Las figuras 1.^a y 2.^a indican claramente la disposición. La pila de cruzamiento es doble y está formada por dos cilindros de 0,70 de diámetro.

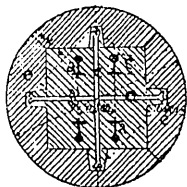
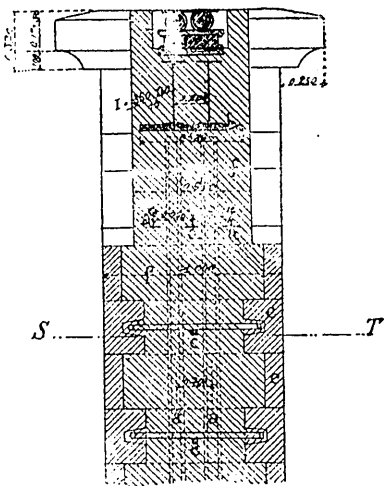
La armazón de las pilas está formada por cuatro carriles viejos, que, como hemos dicho, atraviesan el hormigón del cimiento. Colocados los carriles, se ejecutó el paramento de las pilas, formado con piedras artificiales de hormigón fabricadas de antemano en moldes de madera y revestidas al salir del molde, con piedrecillas y desperdicios de una fábrica de vidrios, revestimiento muy barato y que da á las piedras una apariencia de mosaico de muy buen efecto. El hueco central se rellenó con hormigón compuesto de: un metro cúbico de piedra de 0,01 á 0,04,

(1) El puente Alejandro, en París, costará 1.500 francos por metro cuadrado. Trátase en este caso de una obra monumental en la que la decoración absorberá una gran parte del presupuesto.

0,40 m³ de arena y 240 kg. de cemento de Portland. Al hacer este relleno se iban estableciendo enlaces metálicos transversales en todos sentidos.

Fig. 2.^a

SECCION POR MNPQR DE LA FIG. 1.^a



Las ménsulas están armadas con viguetas horizontales de sección en forma de doble T, bastante robustas para asegurar por sí solas el equilibrio, en la parte superior y por carriles horizontales en la inferior.

Estas pilas, calculadas minuciosamente para resistir á los choques de los cuerpos flotantes, constituyen una innovación sumamente útil, que convenientemente generalizada, dará la solución de muchos problemas de construcción.

Parece interesante indicar aquí algunas de las aplicaciones que puede tener este sistema de construcción, que consiste en construir fábricas capaces de resistir á esfuerzos considerables de tensión y que puedan ser sometidas al cálculo.

Una de las aplicaciones se refiere á las pilas de los viaductos. En el estado actual de la construcción, las pilas metálicas no están justificadas en ningún caso; siempre habrá ventaja en sustituirlas por pilas de fábrica armadas. Deben construirse de mampostería con mortero de Portland, dejando, para la armazón metálica, pozos que luego se rellenarán con hormigón de cemento. Un sistema, cuidadosamente establecido, de enlaces transversales, da á las pilas tal resistencia á la compresión, que este elemento se puede eliminar de los cálculos. Las dimensiones de las pilas y de las armazones deben determinarse para la resistencia á los esfuerzos transversales producidos por el viento. Para resistir á presiones de 300 kg. por metro cuadrado, bastan dimensiones pequeñas. Para evitar el giro en la base, se les da un ensanchamiento ó zarpa de cemento armado que se puede calcular fácilmente.

Puede también aplicarse el procedimiento á las torres de los faros, á los muros de sostenimiento, en los que, cuando la altura es superior á tres metros, la economía que produce el empleo del cemento armado va haciéndose mayor á medida que aumenta la altura, y á las grandes presas de embalse, difícil problema temido por los Ingenieros.

Volvamos á la descripción del puente. Las vigas principales son de hierro, de alma llena, forma de doble T y continuas ó de tramos solidarios. Las luces de los tramos son diferentes y están comprendidas entre 11 y 17 metros. La mitad superior de la viga, que tiene que trabajar por compresión en la mayor parte de la longitud, está embutida en la masa de hormigón. Sobre los apoyos, donde se originan esfuerzos de tensión muy importantes, se ha reforzado la cabeza superior, empotrando en el hormigón varillas de hierro colocadas paralelamente al eje del puente.

Esta disposición (dice el autor de la obra) se adoptó en una época en que las ideas sobre las vigas de cemento armado no habían adquirido el grado de precisión que hoy tienen y se creyó prudente asegurar la estabilidad de la obra por sólo la armazón metálica, pero teniendo en cuenta el aumento del momento de inercia debido al hormigón. Aun así, la economía que se ha obtenido es muy importante; hoy día, los progresos realizados en la aplicación del sistema, habrían permitido reducir por lo menos en 4.000 francos el importe del hierro empleado.

Los resultados no han podido ser más satisfactorios. La flecha máxima observada en las pruebas ha sido de 5 milímetros en un tramo de 17 metros y diariamente se comprueba que el hormigón reduce las vibraciones de tal manera, que son insensibles.

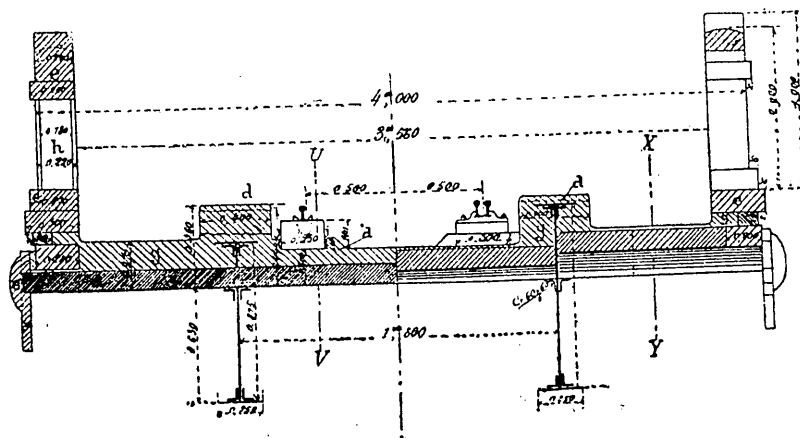
Para las viguetas se emplearon carriles viejos, cuyos extremos atraviesan las almas de las vigas por orificios rectangulares. Para evitar el desgarramiento del alma, se reforzó la parte inferior de estos orificios con trozos de hierro de ángulo sobre los cuales se apoyan los carriles, sin ensamblaje alguno. Cada vigueta está formada por un sólo carril de 30 kilogramos de peso por metro lineal y de 11 centímetros de altura. Estas dimensiones eran suficientes para los andenes volados, pero no para soportar el peso de los vehículos que habían de pasar por el puente, sobre todo teniendo en cuenta que los carriles eran viejos y estaban desgastados. Esta dificultad se resolvió utilizando para la resistencia el hormigón de cemento que rellena los senos de las bovedillas de ladrillo hueco que van de carril á carril, para lo cual se enlazaron los carriles con el hormigón superior por medio

Fig. 3.^a

SECCION TRANSVERSAL DEL PISO

Tranvía de vapor.

Tranvía eléctrico.



de alambres verticales, obteniéndose de esta manera vigas de cemento armado de 20 centímetros de altura, que han dado resultados excelentes, puesto que no se han observado grietas ni flechas apreciables bajo el peso de las sobrecargas.

Como acabamos de decir el piso está constituido por bovedillas de ladrillo hueco. Adoptóse esta disposición en primer lugar por economía, y en segundo lugar porque habiendo de ser construido el piso en tiempo de fuertes heladas, se quiso reducir al mínimo el volumen de hormigón hecho en tales condiciones. Los hechos demostraron que los temores á las heladas no tenían fundamento. En efecto, no pudo evitarse por completo el empleo del hormigón, y para preservarlo de la acción de los fríos intensos se amasó con agua caliente á la que, por cada 10 litros, se adicionaba un kilogramo de carbonato de sodio. El procedimiento dió muy buenos resultados, quedando demostrada su eficacia contra las heladas. Comprobóse, también, que este procedimiento no ejerce influencia perjudicial sobre las cualidades del mortero, si bien acelera mucho el fraguado, circunstancia que se aprovechó para fabricar más rápidamente las piedras artificiales, puesto que con este sistema no necesitaban estar tanto tiempo en los moldes.

La figura 3.^a representa dos semi-secciones transversales del

piso, una por el eje de una vigueta y la otra por el eje de una bovedilla.

La figura 4.^a es la sección longitudinal del piso. Como se ve las disposiciones adoptadas son dos; la de la parte derecha de la figura corresponde al tranvía eléctrico y al ferrocarril económico la de la izquierda.

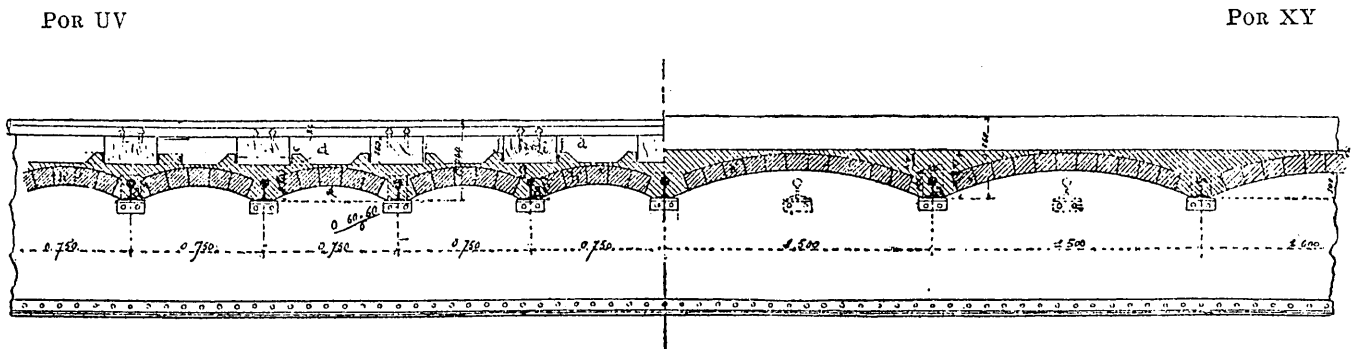
Los voladizos de los andenes con sus pretilas dan el procedimiento natural de decoración de este puente; estos vigorosos salientes dan á la obra un aspecto elegante y atrevido, que no es común en obras de luces pequeñas.

El importe total de las obras del puente en X se descompone de la siguiente manera:

	Francos.
Pilotaje.....	2.903
Escollera.....	796
Arena.....	211
Cal.....	187
Cemento (á 60 francos la tonelada).....	5.095
Piedra para hormigón.....	847
Ladrillos.....	1.109
Carriles viejos (á 60 francos la tonelada)...	1.290
Hierros nuevos (30 toneladas).....	13.548
Salarios.....	6.485
Varios.....	529
TOTAL.....	33.000

Fig. 4.^a

SECCIONES LONGITUDINALES DEL PISO



BIBLIOGRAFIA

Cálculo de probabilidades.—Teoría de los errores.—Método de los mínimos cuadrados.—Apuntes por el Profesor de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, D. Antonio Portuondo.—Madrid. Establecimiento tipográfico de Fortanet, 1898. Precio, 5 pesetas.

Estos apuntes, escritos por nuestro querido compañero don Antonio Portuondo, para uso de sus alumnos de la Escuela de Caminos, constan de tres partes. En la primera se dan nociones bastante completas de las probabilidades *a priori* y *a posteriori* hasta dejar establecido el teorema de Bernouilli, así el directo como el inverso.

La segunda parte está dedicada á la exposición de la llamada *Teoría de los errores*, empezando por fijar, con precisión, el verdadero sentido que debe atribuirse al postulado de la media aritmética entre valores de observación de una misma magnitud discordantes. Y después de sentar las hipótesis necesarias, se llega á la conocida función de Gauss como fórmula que conduce á la probabilidad de los errores. Se ve el parámetro que aparece en la función de Gauss como un módulo de precisión, dependiente del género de observaciones de que se trata, y se procede á su determinación; dánse también las expresiones de error probable y del peso de las observaciones. Concluye, esta segunda parte, con el estudio de la medición de las magnitudes en general, ya sean de igual, ya de diferente precisión las observaciones hechas.

En la tercera parte expónese el método de los mínimos cuadrados, después de dar á conocer, en los preliminares, las reglas para calcular el error medio ó el peso de una magnitud que sea función conocida de otras varias obtenidas por observaciones

directas. A dos clases de problemas se aplica este método. En unos se considera el caso en que las cantidades desconocidas estén ligadas por medio de ecuaciones dadas á otras cantidades obtenidas por la observación (se procede entonces por observaciones mediatas); y en otras se procede por observaciones que se llaman condicionales, porque estas observaciones (que en este caso son inmediatas) deben satisfacer á algunas ecuaciones de condición.

Estos apuntes están escritos con ese admirable método y esa maravillosa claridad y sencillez, peculiares de D. Antonio Portuondo, y que tanto admiramos los que fuimos sus discípulos. Pero donde parece haber puesto especial esmero el sabio profesor, es en los resúmenes de resultados y fórmulas que se encuentran al final de cada una de las tres partes, y en los cuadros para indicar la disposición más conveniente de los cálculos

Son numerosos los ejemplos y están tratados con los más prolijos detalles. Encuéntrase, entre ellos, la compensación de direcciones y la compensación general de la triangulación de Madrideojos, de fama universal, que, como es sabido, se hizo en España para la medición de una base geodésica, y es uno de los más notables trabajos del Instituto Geográfico y Estadístico.

El libro está muy bien impreso en el establecimiento tipográfico de Fortanet, y las láminas perfectamente dibujadas por nuestro compañero Sr. Sáenz de Jubera, quien, con el Sr. Portuondo, ha vigilado la impresión, que está tan cuidadosamente hecha que sólo una errata se ha encontrado; caso raro aquí, donde tan poca costumbre tienen los cajistas de componer libros con tantas fórmulas y signos algebraicos.